

### 3. 1. 1. 3 首都圏を含む関東広域の地震発生過程の解明

#### (1) 業務の内容

##### (a) 業務の目的

MeSO-net データと防災科学技術研究所高感度地震観測網 (Hi-net) 等の既存データを統合して、関東広域のプレート構造と地震活動の関係を解明する。統合データを蓄積して、データベースを構築し、MeSO-net 開始以前を含む長期・広域の地震活動を解明する。

##### (b) 平成 26 年度業務目的

- 1) 国立大学法人東京大学地震研究所の「データ収集・処理・公開センター」で収集された首都圏地震観測網 (MeSO-net) の自然地震観測データを受信し、首都圏内における独立行政法人防災科学技術研究所高感度地震観測網 (Hi-net) をはじめとした既存の地震観測データとの統合処理を引き続き行い、地震波形統合データベースの構築・保管を継続する。
- 2) 統合データベースを元に、高精度震源・メカニズム解推定結果に基づく地震クラスターの分類、地震波形解析に基づくプレート構造解明にもとづき首都圏における長期・広域の地震活動を解明するため、首都圏地震観測網 (MeSO-net) の自然地震観測データを取り込むための手法開発を進める。

##### (c) 担当者

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
独立行政法人 防災科学技術研究所	主任研究員	木村 尚紀	
独立行政法人 防災科学技術研究所	地震・火山防災研究ユニット長	関口 渉次	
独立行政法人 防災科学技術研究所	地震・火山観測データセンター長	青井 真	
独立行政法人 防災科学技術研究所	主任研究員	汐見 勝彦	
独立行政法人 防災科学技術研究所	主任研究員	浅野 陽一	
独立行政法人 防災科学技術研究所	主任研究員	松原 誠	
独立行政法人 防災科学技術研究所	主任研究員	松澤 孝紀	

#### (2) 平成 26 年度の成果

##### (a) 業務の要約

- 1) 国立大学法人東京大学地震研究所の「データ収集・処理・公開センター」で収集された首都圏地震観測網 (MeSO-net) の自然地震観測データを受信し、首都圏内における独立行政法人防災科学技術研究所高感度地震観測網 (Hi-net) をはじめとした既存の地震観測データとの統合処理を引き続き行い、地震波形統合データベースの構築・保管を継続した。
- 2) 統合データベースを元に、高精度震源・メカニズム解推定結果に基づく地震クラスターの分類、地震波形解析に基づくプレート構造解明にもとづき首都圏における長期・広域

の地震活動を解明するため、首都圏地震観測網（MeSO-net）の自然地震観測データを取り込むための手法開発を進めた。

## (b) 業務の成果

### 1) 統合処理による地震波形統合データベースの構築・保管

東京大学地震研究所による首都圏地震観測網（MeSO-net）において収録された連続地震波形データは同研究所の「データ収集・処理・公開センター」に集められた後、防災科学技術研究所(以下、防災科研とする)の「統合・保管センター」に転送される。「統合・保管センター」では、MeSO-net データを受信し、首都圏内における防災科研高感度地震観測網（Hi-net）をはじめとした既存の地震観測データについて統合処理を行い、地震波形統合データベースの構築・保管を継続した。

### 2) 統合データベースを用いた長期・広域の地震活動の解明

#### a) はじめに

関東広域のプレート構造と地震活動の関係を解明するために、詳細な地下構造を明らかにすることは重要である。震源から放射された地震波は、地下構造の影響を受けながら観測点まで到達する。伝播経路に速度不連続が存在する場合、反射波や変換波が生成されるため、自然地震の後続位相は地下の速度構造について有用な情報を与えてくれる。房総半島沖の、フィリピン海プレート上面に沿って発生するプレート境界型地震より深い地震の波形記録には、P波とS波の間に到達する位相がしばしば見られ、多数の地震の波形記録を比較検討した詳細な解析により、フィリピン海プレート最上部を構成する火山性砕屑物・火山岩層(以下、volcaniclastic and volcanic rock, VCR層とする)下面でのPS変換波に同定されている(Kimura *et al.*, 2010)<sup>1)</sup>。その後、前身の首都直下地震防災・減災特別プロジェクト(以下、首都直下プロジェクトとする)により構築がはじまったMeSO-netによる波形記録を元に、フィリピン海プレート上面に沿って発生するプレート境界型地震では堆積層基盤、これより深い地震では堆積層基盤およびVCR層からのSP変換波が上下動成分に見られることを報告している<sup>2)</sup>。房総半島南東岸では既存のモデルで走時を説明できるが、半島中央部から北西部では走時のずれが大きくなることから、構築の途上とはいえ既存の観測網よりはるかに高密度なMeSO-netの観測点分布を活かし、MeSO-netデータを用いて変換面の形状を推定した。首都直下プロジェクトにてMeSO-netの構築が完了し、高密度な観測点配置で観測データの蓄積が進んだことから、新たなデータの解析を目的としてMeSO-netの自然地震観測データを取り込むための手法開発を進めた。

#### b) データ

解析にはMeSO-net構築が開始して以降、2013年9月16日までに房総半島の周辺で発生したM3以上の地震で、広い範囲でP波およびS波が明瞭な地震を対象とした。波形の確認は、変換波を連続して追跡できるようMeSO-netの測線毎に波形トレースを並べた図を作成して行った。その際に、「a 1. 首都圏主部での地震発生過程の解明」で取得された読み取り値を活用した。解析に使用する帯域を検討したところ、1-4Hzで高周波のノイズが低減され位相を明瞭に確認できるため、以後はこの帯域を用いた。P波とS波の間に、明

瞭な位相が見られ、近接したある程度の範囲の観測点で連続して追跡出来る場合に、変換波ありとした。こうした地震について、観測点毎に波形を表示して到達走時を読み取った。S波の直前には堆積層基盤からの変換波が到達することが分かっているため、S波より3秒以上早く到達し、複数の観測点で連続して明瞭に追跡できる波の到達時刻を用いた。近接した観測点で並べた波形例を図1 (P.40) に、1観測点における3成分の波形例および粒子軌跡を図2 (P.40) に示す。11秒前後に、明瞭な位相が連続して確認できる(位相Xとする)。3成分波形および粒子軌跡から上下動成分に卓越することが分かり、SP変換波と考えられる。読み取り結果の例を図3 (P.41) に示す。なお、変換波の走時を比較する際は、直達S波とSP変換波との走時差を用いた。どちらの波も震源から変換面まではS波として進行するため、両者の走時差をとることで震源から変換面までの経路の影響は相殺すると期待される。これにより震源位置の不確定性の影響を取り除くことが出来る。

### c) 理論走時計算

理論走時の計算は Zelt and Barton (1998)<sup>3)</sup> による差分法走時計算プログラム FAST を用いた。変換波の走時は、変換面より浅い領域の速度構造を変換後の波の速度で置き換えて計算した。グリッドサイズは 0.2km とした。

初期構造モデルは以下のように構築した。Hi-net のルーチン処理で用いられる構造を参考に作成し、表層の堆積層およびフィリピン海プレートを追加した。関東平野は厚い未固結堆積物層に覆われ、表層付近で走時に大きな遅れが生じる。このため、変換波等の走時を評価するにはこの影響を取り除く必要がある。そこで、「地震ハザードステーション」(Japan Seismic Hazard Information Station, J-SHIS) Ver.2 による深部地盤構造モデル(藤原・他, 2012)<sup>4)</sup> を取り込んだ。J-SHIS は、1995年1月17日に発生した兵庫県南部地震を契機として発足した地震調査研究推進本部の方針にのっとり、2001年より地震動予測地図の開発が行われ、その作成の前提条件となる地下構造モデル等を含めて運用が開始された(藤原・他, 2009)<sup>5)</sup>。しかし、甚大な被害を伴った2011年3月11日東北地方太平洋沖地震が適切に考慮されていなかったため、さらなる改良が行われた(藤原・他, 2012)<sup>4)</sup>。これにあわせて、深部地盤構造モデルについても、モデル間の接合部やダミーデータを入力していた海域において、モデル内の不連続部分がスムーズな面構造となるように更新された。今回の調査対象である房総半島の周辺では、半島南東沖で  $V_p5700$  m/s の層が約 6 km 浅くなったほか、半島中央部では  $V_p3200$  m/s の層と  $V_p5700$  m/s の層の間に存在した  $V_p5000$  m/s の層が除外された。VSP法あるいはPS検層によって推定されたP波速度と岩相との対比(林・他, 2006)<sup>6)</sup> によれば、深成岩あるいは変成岩により構成される基盤岩はおおよそ  $V_p5.0$  km/s 前後の値を示す。そこで、ここでは速度構造モデルの浅部を J-SHIS による  $V_p3800$  m/s 以下の層で置き換えた。 $V_p3800$  m/s 以下となる層の下限深度分布を示すと図4 (P.41) のようになる。半島南東沖で、前述の  $V_p5700$  m/s の層の深さの変化に対応する変化が見られるが、内陸部の深度分布はほぼ同じである。今回の解析では陸上の観測点におけるデータを用いたことから、ほとんど影響はないと言える。また、 $V_p3800$  m/s 以下の層を用いたことから、 $V_p5000$  m/s の層の有無による影響もない。房総半島下に沈み込むフィリピン海プレートの構造は、関東地方に沈み込む以前の伊豆・小笠原島弧の構造探査の結果(Suyehiro *et al.*, 1996)<sup>7)</sup> を元に構築した。さらに、房総半島沖の深部反射法構造探査によりフィリピン

海プレートの上部にイメージングされた VCR 層(Kimura *et al.*, 2009<sup>8)</sup>; Kimura *et al.*, 2010<sup>1)</sup>)を加えた。

#### d) 変換面形状推定

変換面形状決定の際は、初期構造モデルにおけるフィリピン海プレートの位置を変化させて、S 波と SP 変換波の走時差の残差 2 乗和 (S) が最小となるモデルを最適解として採用した。S は、次の式で表される。

$$S = \sum_i \{ (i T_S^{ob} - i T_{SP}^{ob}) - (i T_S^{cal}(c) - i T_{SP}^{cal}(c)) \}^2$$

ここで  $i T_{ph}^{ob}$ 、 $i T_{ph}^{cal}(c)$  は、それぞれ i 番目の観測点における位相 ph の観測・理論走時を表し、c は変換面の形状を表すパラメータである。

推定の際に、震央位置から遠く離れた観測点では走時に急なオフセットがあり連続性が明瞭でない場合があり、理論走時との合いが急激に悪くなる場合があることから、房総半島の観測点(図 3、P.41 の矩形領域内)のデータを再現することに重点を置いた。初期構造モデルの深さを変化させた場合および傾斜させた場合について検討した(表 1、P.37)。

表 1 変換面形状推定のための構造モデル

項目	範囲	間隔
深さ	0 - 30km	5km
傾斜方向	S30°W - N30°W	10°
傾斜角度	0° - 60°	0° - 30°: 10° 30° - 60°: 15°

#### e) 結果および考察

地震毎に解析を行い、変換面が精度よく推定された結果を重ねたものを図 5 (P.42) に、東西断面を図 6 (P.42) に示す。これは暫定的な結果であるが、およそ以下の特徴が認められる。変換点は深さおよそ 18-30 km の範囲に分布し、房総半島南東岸では変換面はほぼ平坦だが、半島中央部にむかって傾斜がやや急になる。半島中央部では傾斜方向はほぼ西北西方向である。Nakagawa *et al.*(2010)<sup>9)</sup> による地震波速度構造(図 6、P.42)と比較すると、半島下で  $V_p$  およそ 7 km/s 以下、 $V_s$  およそ 4 km/s 以下の領域の下限深度が深くなり、これは変換点が西に深くなる位置と深さも含めておよそ一致する。このことは、 $V_p$  およそ 7 km/s 以下、 $V_s$  およそ 4 km/s 以下の領域の下限付近の構造が、変換面として捉えられている可能性がある。変換点の深さにややばらつきが見られるが、グリッドサーチの解像度が十分でない、読み取り値の品質が十分でない等の原因が考えられる。今後、グリッドサーチの解像度を上げること、および読み取り値の品質の適切な評価により詳細な検討が可能となる。

### (c) 結論ならびに今後の課題

国立大学法人東京大学地震研究所の「データ収集・処理・公開センター」で収集された MeSO-net の自然地震観測データを受信し、首都圏内における防災科研 Hi-net をはじめとした既存の地震観測データとの統合処理を引き続き行い、地震波形統合データベースの構築・保管を継続した。

統合データベースを元に、MeSO-net により記録された後続位相の読み取りを行い、表層の堆積層の速度構造を取り込んだ理論走時計算により変換面の形状推定を行い、稠密な観測点配置を有する MeSO-net の自然地震観測データを取り込むための手法開発を進めた。今後、グリッドサーチの解像度の向上、読み取り値の誤差の適切な評価等の対策により、精度の向上が期待される

### (d) 引用文献

- 1) Kimura, H., Takeda, T., Obara, K. and Kasahara, K.: Seismic Evidence for Active Underplating Below the Megathrust Earthquake Zone in Japan, *Science*, Vol.329, pp.210-212, 2010.
- 2) 平田直: 地震計を用いた自然地震観測によるプレート構造調査, 文部科学省委託研究首都直下地震防災・減災特別プロジェクト総括成果報告書, pp.7-14, 2013.
- 3) Zelt, C. A. and Barton, P. J.: 3D seismic refraction tomography: A comparison of two methods applied to data from the Faeroe Basin, *J. Geophys. Res.*, Vol.103, pp.7187-7210, 1998.
- 4) 藤原広行, 河合伸一, 青井真, 森川信之, 先名重樹, 東宏樹, 大井昌弘, はお憲生, 長谷川信介, 前田宜浩, 岩城麻子, 若松加寿江, 井元政二郎, 奥村俊彦, 松山尚典, 成田章: 東日本大震災を踏まえた地震ハザード評価の改良に向けた検討, 防災科学技術研究所研究資料 第 379 号, 2012.
- 5) 藤原広行, 河合伸一, 青井真, 森川信之, 先名重樹, 工藤暢章, 大井昌弘, はお憲生, 早川譲, 遠山信彦, 松山尚典, 岩本鋼司, 鈴木晴彦, 劉瑛: 強震動評価のための全国深部地盤構造モデル作成手法の検討, 防災科学技術研究所研究資料 第 337 号, 2009.
- 6) 林広樹, 笠原敬司, 木村尚紀: 関東平野の地下に分布する先新第三系基盤岩類, *地質学雑誌*, Vol.112, pp.2-13, 2006.
- 7) Suyehiro, K., Takahashi, N., Ariie, Y., Yokoi, Y., Hino, R., Shinohara, M., Kanazawa, T., Hirata, N., Tokuyama, N. and Taira, A.: Continental crust, crustal underplating, and low-Q upper mantle beneath an oceanic island arc, *Science*, Vol.272, pp.390-392, 1996.
- 8) Kimura, H., Kasahara, K. and Takeda, T.: Subduction process of the Philippine Sea Plate off the Kanto district, central Japan, as revealed by plate structure and repeating earthquakes, *Tectonophysics*, Vol.472, pp.18-27, 2009.
- 9) Nakagawa, S., Kato, A., Sakai, S., Nanjo, K., Panayotopoulos, Y., Kurashimo, E., Obara, K., Kasahara, K., Aketagawa, T., Kimura, H. and Hirata, N.: Heterogeneous Structure and Seismicity beneath the Tokyo Metropolitan Area, Abstract S41A-2004 presented at 2010 Fall Meeting, AGU, San Francisco, Calif., 13-17 Dec, 2010.

### (e) 学会等発表実績

学会等における口頭・ポスター発表

発表成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表場所（学会等名）	発表時期	国際・国内の別
2014年1月房総半島沖スロースリップイベントと群発地震活動(ポスター)	木村尚紀	日本地球惑星科学連合 2014年大会(横浜市)	2014年4月	国内

学会誌・雑誌等における論文掲載

なし

マスコミ等における報道・掲載

なし

(f) 特許出願，ソフトウェア開発，仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

### (3) 平成 27 年度業務計画案

国立大学法人東京大学地震研究所の「データ収集・処理・公開センター」で収集された首都圏地震観測網（MeSO-net）の自然地震観測データを受信し、首都圏内における国立研究開発法人防災科学技術研究所高感度地震観測網（Hi-net）をはじめとした既存の地震観測データとの統合処理を引き続き行い、地震波形統合データベースの構築・保管を継続する。

統合データベースを元に、高精度震源・メカニズム解推定結果による地震クラスターの分類および地震波形解析によるプレート構造推定にもとづき首都圏における長期・広域の地震活動を解明するため、自然地震の後続位相解析および3次元的な減衰構造解明のための手法開発を進める。

140.5122 35.4326 55.72 M3.9 2013-01-09 13:59:28.95

7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 (sec)

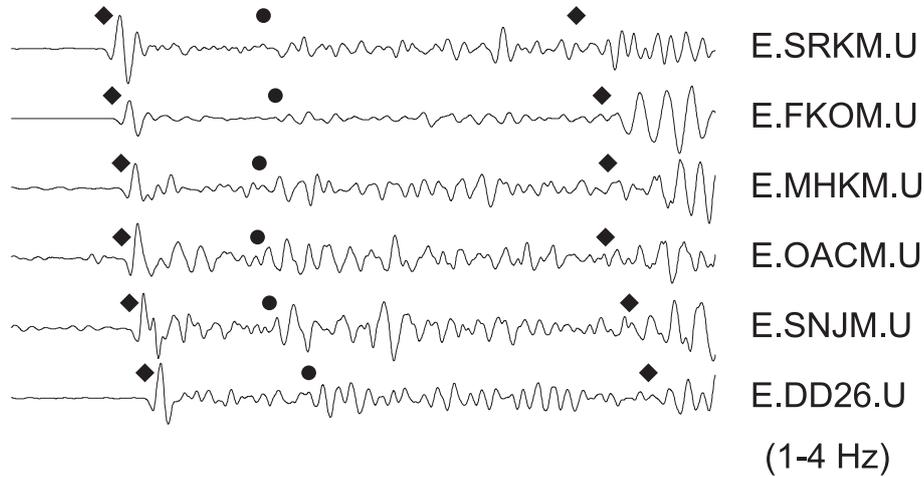


図1 MeSO-netで観測された地震波形例(1-4 Hz)。上下動成分をトレース毎に最大振幅で正規化して並べて示した。四角はP波およびS波の到達時刻の読み取り値を、丸は位相Xの読み取り結果を表す。

140.5122 35.4326 55.72 M3.9 2013-01-09 13:59:28.95

7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 (sec)

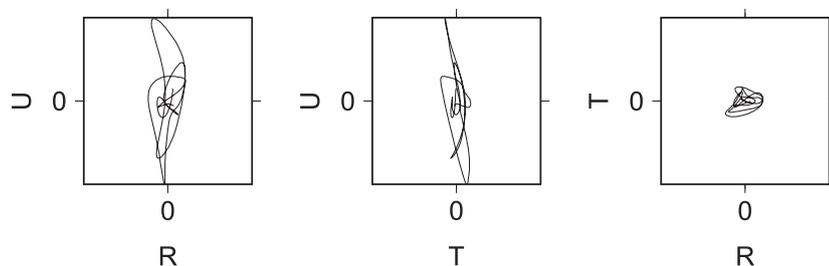
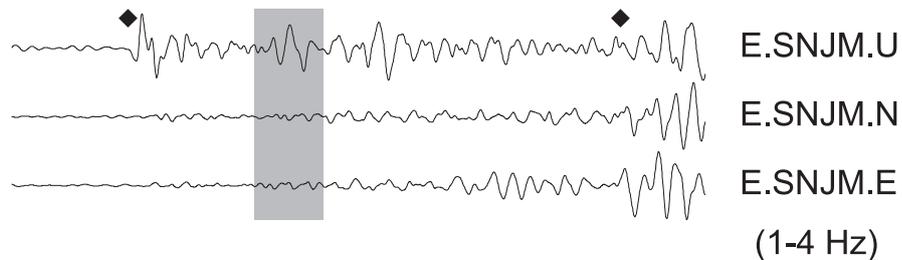


図2 新治小学校観測点(E.SNJM)における3成分波形例(1-4 Hz)および位相Xの粒子軌跡。地震波形はトレース毎に最大振幅で正規化した。四角はP波およびS波の到達時刻の読み取り値を、灰色矩形は粒子軌跡を図示した時刻範囲を表す。

140.5122 35.4326 55.72 M3.9  
2013-01-09 13:59:28.95

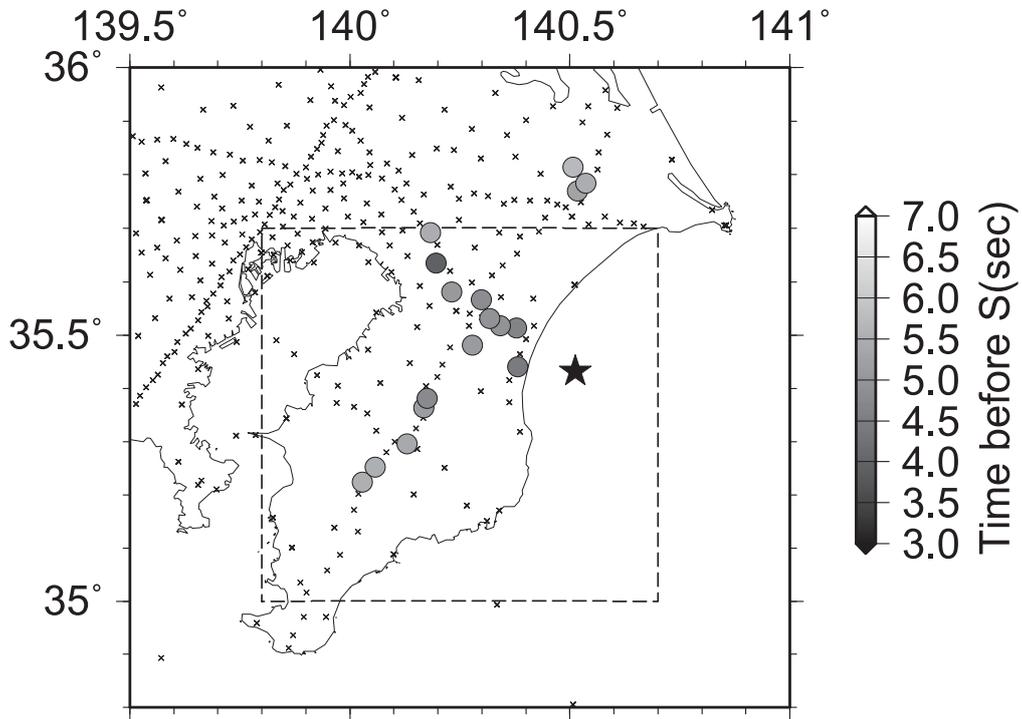


図3 位相 X の到達時刻の読み取り結果(丸印)。X印は地震観測点を、星印は震央位置を表す。

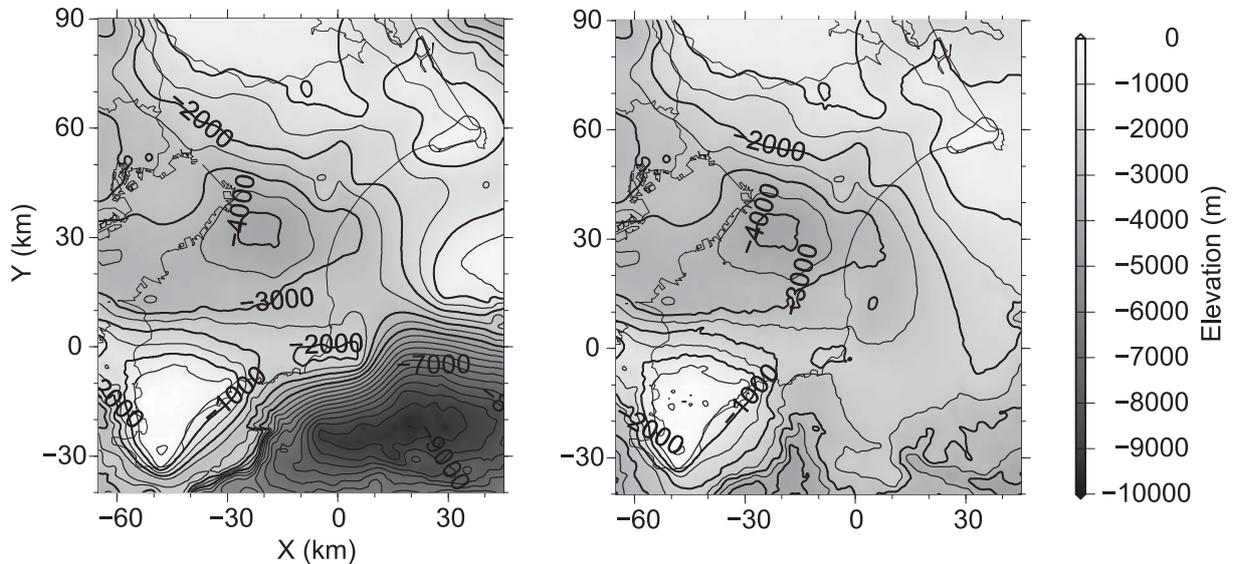


図4 基盤深度分布の比較。J-SHIS 深部地盤モデル Ver.1 (左図、藤原・他, 2009)<sup>5)</sup> および 2 (右図、藤原・他, 2012)<sup>4)</sup> について、 $V_p3800\text{m/s}$  以下となる層の下限深度分布を示す。細線は 500m 間隔、太線は 1000m 間隔の等深度線を表す。

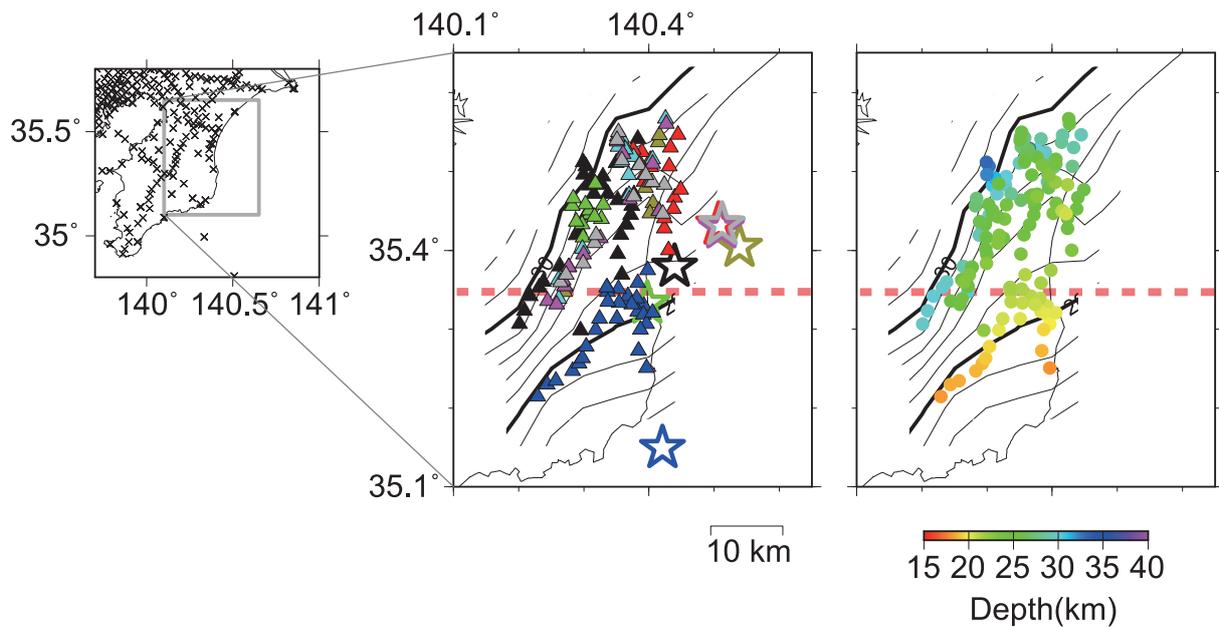


図 5 対象領域(左図)および変換点の位置の分布を地震毎に示す(中央図)。星印は震央を、同じ色の三角印はその地震による変換点の位置を表す。等深度線は 2km 間隔で示す。変換点の深度分布を丸印のカラーで示す(右図)。

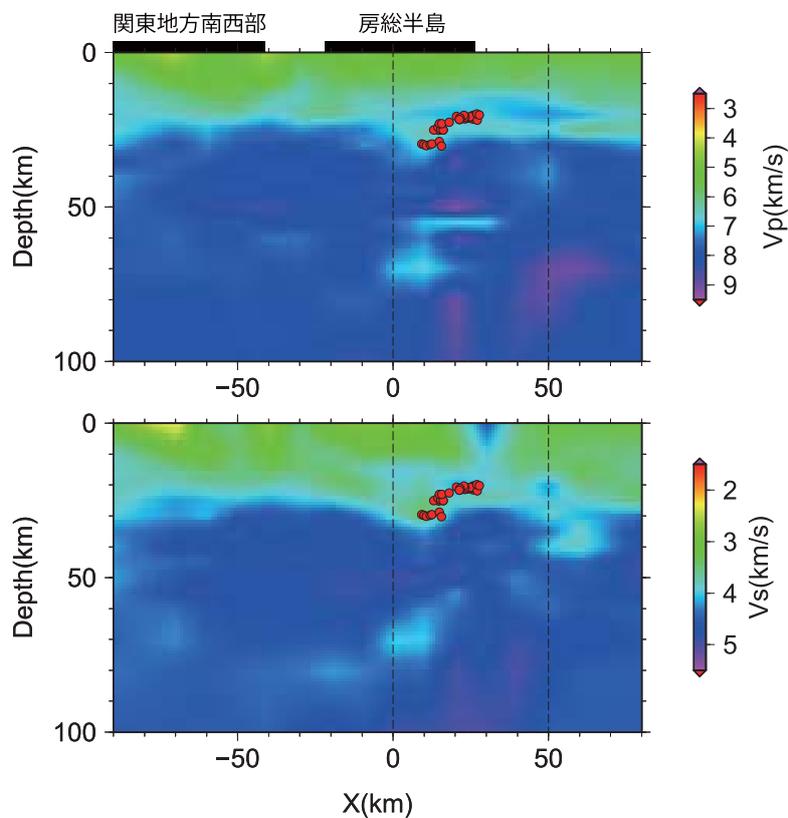


図 6 房総半島南部における変換点の深さ分布および速度構造の東西鉛直断面。断面の位置は図 5 に薄赤破線で示す。片幅 5km 以内の変換点を赤丸で、図 5 の範囲を黒破線で示す。速度構造は Nakagawa *et al.* (2010)<sup>9)</sup> による。